

## 大分県産スギ材の強度特性(第1報) : 丸太のヤング 係数

城井, 秀幸  
九州大学大学院生物資源環境科学府

藤本, 登留  
九州大学大学院農学研究院

村瀬, 安英  
九州大学大学院農学研究院

河野, 貴可

他

<https://doi.org/10.15017/4313>

---

出版情報 : 九州大学大学院農学研究院学芸雑誌. 58 (1/2), pp.43-54, 2003-10-01. 九州大学大学院農学  
研究院

バージョン :

権利関係 :

## 大分県産スギ材の強度特性 (第1報)

— 丸太のヤング係数 —

城井秀幸\*・藤本登留・村瀬安英<sup>†</sup>  
河野貴可・芦原義伸・木下義文  
三ヶ田雅敏・津島俊治・豆田俊治\*\*

九州大学大学院農学研究院森林資源科学部門生物材料機能学講座木質資源工学研究室  
(2003年6月30日受付, 2003年7月23日受理)

### Strength Properties of Sugi (*Cryptomeria Japonica*) Grown in Oita Prefecture — Young's Modulus of logs —

Hideyuki KII\*, Noboru FUJIMOTO, Yasuhide MURASE<sup>†</sup>,  
Takayoshi KAWANO, Yoshinobu ASHIHARA, Yoshitake KINOSHITA,  
Masatoshi MIKEDA, Shunji TSUSHIMA and Toshiharu MAMEDA\*\*

Laboratory of Wood Material Technology, Division of Biomaterial Science,  
Department of Forest and Forest Products Science, Faculty of Agriculture,  
Kyushu University, Fukuoka 812-8581, Japan

## 緒 言

国産材の代表樹種であるスギは、今や間伐期を経て主伐期を迎え、全国的にその蓄積量が大きく増加している。また、全国のスギ素材生産量の3割以上を占める(農林水産省統計情報部, 2003)九州地域のスギ素材蓄積量も増加傾向にあり、スギ材産地においてはスギ材の需要拡大が緊急で重要な課題となっている。

しかしながら、近年の建築基準法改正による性能規定化や住宅の品質確保の促進等に関する法律の制定により、木材製品の品質や性能への要求が高くなる一方で、外材を中心とする集成材などのエンジニアリングウッドの進出により、国産材需要、とくにスギ材需要を取り巻く環境は一段とその厳しさを増している。

このような中で、スギ材の需要拡大を図る方法の一つとして、エンジニアリングウッドとしてのスギ材の利用法が考えられる。例えば、最近の事例として、スギ丸太を体育館等の大型建築物の構造部材としてそのまま使用するケース(黒川, 2000; 三ヶ田・城井, 2001)やスギ構造用集成材による木橋の実現等である。このような構造物への利用拡大の実現のためには、まずスギ材の材質、特にヤング係数を中心とした強度性能を明らかにし、その材質に適した製品開発を行うことが重要となるであろう。

ところで、スギ材は地域により様々な品種や系統が存在し、それにより材質や強度性能が大きくばらつくことが知られており(スギ分科会, 1991)大分県においても古くから挿し木造林が行われ、多数の挿し木品

\* 九州大学大学院生物資源環境科学府森林資源科学専攻生物材料機能学講座木質資源工学研究室

\*\* 大分県林業試験場木材部

\* Laboratory of Wood Material Technology, Division of Biomaterial Sciences, Department of Forest and Forest Products, Graduate School of Bioresource and Bioenvironmental Sciences, Kyushu University

\*\* Lumber Department, Oita Prefectural Forestry Experimental Station

<sup>†</sup> Corresponding author (E-mail:ymurase@agr.kyushu-u.ac.jp)

種が成立しており(宮島, 1989)強度性能がばらつくことが予想される。

そこで、本研究では、大分県産スギ丸太の動的ヤング係数の分布を非破壊評価法である縦振動法により把握するとともに、スギ品種や目視等による強度区分の可能性についても検証を行い、現場における実用的な強度区分方法について検討した。

## 材料と方法

### 1. 供試丸太

供試丸太は Table 1 に示す大分県産スギ丸太3935本である。これは平成3年度から平成14年度にかけて測定したもので、A, B, Cの3グループに区分した。すなわちAグループは、県内の18カ所の原木市場に流通する中目材(材長4m)を中心とするものである。元玉とそれ以外で2区分でき、年輪幅などの材質面に

Table 1. Group outlines of log specimens.

Group A					
Class	Locality Forest Plan Area	<i>n</i>	<i>N</i>	Note	
Logs of market distribution	Oita hokubu	86	2	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ Middle diameter logs</li> <li>・ Length 4m</li> <li>・ Divided first logs and other logs</li> </ul>	
	Oita chubu	147	3		
	Oita nanbu	148	3		
	Oita seibu	886	10		
Total		1267	18		
Group B					
Class	Locality Forest Plan Area	<i>n</i>	<i>N</i>	stand ages	Cultivar
Logs with the clear Cultivar	Oita chubu	32	1	38	Aya
		60	1	63	
		64	1	26	Kumotooshi
		146	1	32-38	Aoshimaarakawa
	Oita nanbu	32	1	30	Obiaka
		144	1	42-46	Tanoaka
	Oita seibu	32	1	30	Yabukuguri
		40	1	29	Hinode
		237	1	65	Urasebaru
	Total		787	9	
Group C					
Class	Locality Forest Plan Area	<i>n</i>	<i>N</i>	Note	
Logs for the architecture	Oita hokubu	568	1	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ middle~large diameter logs</li> <li>・ natural seasoning</li> <li>・ Logs with no bark</li> </ul>	
	Oita chubu	370	1		
	Oita seibu	943	3		
Total		1881	5		

Legend: *n*: Number of logs, *N*: Number of the place of the measurement.

ついで測定を行っている。Bグループは、スギの品種が明らかなグループである。品種は、県内に比較的多く植栽されている、ヤブクグリ、アヤスギ、オビアカ、ヒノデ、クモトオシ、タノアカ、ウラセバル、アオシマアラカワの8品種で、すべて3m材で丸太の採取位置が明らかなグループである。Cグループは、建築用丸太としてそのまま利用されたもので、比較的大径材を含み、建築設計上のヤング係数等の基準を満たす必要から、林木選定を行い伐採している。また、樹皮を剥いで一定期間の天然乾燥も行っている。各グループの丸太のサンプリング箇所を Fig. 1 に示す。

2. 測定方法

木材の強度性能を非破壊的に知る方法の一つとして、縦振動法により動的ヤング係数を測定する方法がある。すでに、スギ丸太に関して、スギ丸太の強度区分が製品の強度区分推定に対して有効であり(荒武ら, 1992; 有馬ら, 1993), スギやカラマツの構造用集成材に関して、丸太の段階でのヤング係数による強度区分が効率的な製品製造に有効であるとされている(荒武・森田, 1999; 橋爪ら, 1997; 池田・大森, 1990; 小泉ら, 1997)。本研究では、この縦振動法による丸太の動的

ヤング係数測定法を採用した。

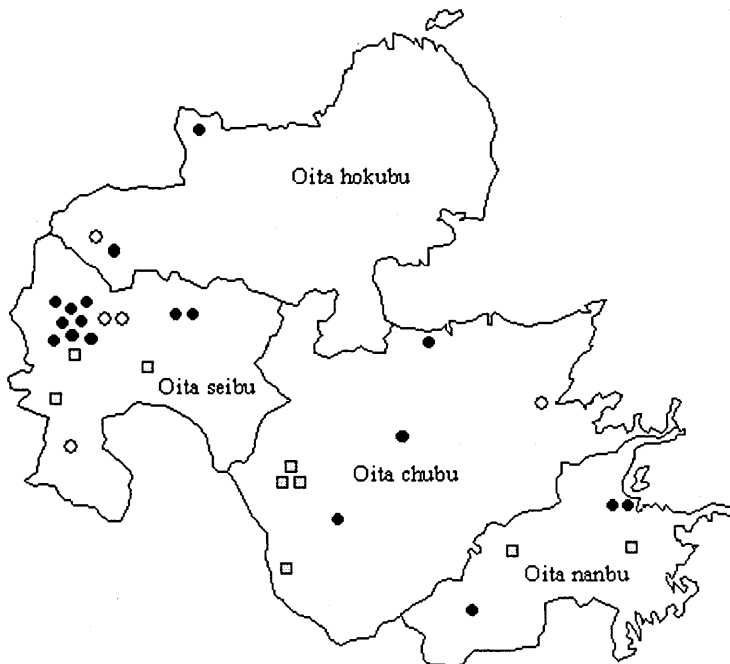
動的ヤング係数 ( $E_{fr}$ ) は、縦振動法により (1) 式から算出した。

$$E_{fr} = 4L^2 f^2 \rho \tag{1}$$

ここに、 $L$ :材長,  $f$ :固有振動数,  $\rho$ :密度。

重量及び固有振動数の測定は、ローラーコンベアを装着した重量計の上に丸太を載せ、重量(最小読取100g)を測定すると同時に、その状態で元口端をハンマーで打撃し末口端からマイクロホンを通じてFFTアナライザー(リオン(株)製シグナルアナライザー SA-77)で1次の固有振動数(周波数の読取精度:2.5Hz)を測定した。高次の固有振動数の測定は振動拘束の影響を受けにくいことが報告されているが(荒武ら, 1992), 本法と丸太をロープでつり下げ支持して測定した1次固有振動数がほぼ同じ振動数を示すことから、この方法により1次固有振動数を測定した。

丸太の体積は、丸太を末口径( $D_t$ )と元口径( $D_b$ )の平均直径の円柱体と仮定して算出した。末口と元口の直径は、巻き尺を用いて丸太の周囲長から計算し、



Legend : ●: Group A, ■: Group B, ○: Group C.

Fig. 1. Sampling location of the logs in Oita Prefecture.

Table 2. Measurement result. (Group A)

Specimen		<i>L</i>	<i>Dt</i>	<i>Db</i>	<i>Density</i>	<i>F</i>	<i>Efr</i>				
		cm	cm	cm	g/cm <sup>3</sup>	Hz	Gpa				
The 1st logs	<i>Mean</i>	410.8	29.3	37.6	0.704	335.1	5.33				
<i>n</i> =529	<i>CV</i> (%)	2.0	10.0	11.0	12.3	12.3	21.4				
Except for the 1st logs	<i>Mean</i>	408.2	28.9	33.7	0.685	392.0	7.02				
<i>n</i> =738	<i>CV</i> (%)	1.2	8.5	9.1	12.3	12.6	21.6				
ALL <i>n</i> =1267	<i>Mean</i>	409.2	29.1	35.3	0.693	368.3	6.31				
	<i>STD</i>	6.50	2.66	4.04	0.086	54.03	1.60				
	<i>CV</i> (%)	1.6	9.2	11.4	12.3	14.7	25.4				
	<i>Min</i>	394.6	23.6	27.4	0.409	250.0	2.90				
	<i>Max</i>	461.5	42.8	57.3	0.946	580.0	14.16				
Specimen		<i>Tr</i>	Heart wood rate			10RW rate					
			<i>Top end</i>	<i>Butt end</i>	<i>Mean</i>	<i>Top end</i>	<i>Butt end</i>	<i>Mean</i>			
			%	%	%	%	%	%			
The 1st logs	<i>Mean</i>	0.020	68.2	77.2	73.3	46.0	33.4	38.9			
<i>n</i> =529	<i>CV</i> (%)	25.6	8.7	9.3	7.6	22.0	35.6	26.3			
Except for the 1st logs	<i>Mean</i>	0.012	66.0	70.9	68.6	46.2	40.2	42.9			
<i>n</i> =738	<i>CV</i> (%)	34.2	10.2	8.7	8.6	20.7	23.6	20.6			
ALL <i>n</i> =1267	<i>Mean</i>	0.015	66.9	73.5	70.6	46.1	37.4	41.3			
	<i>STD</i>	0.006	6.49	7.32	6.18	9.78	11.07	9.64			
	<i>CV</i> (%)	40.6	9.7	10.0	8.8	21.2	29.6	23.4			
	<i>Min</i>	0.000	40.7	37.9	46.7	8.2	2.2	6.9			
	<i>Max</i>	0.036	98.4	98.0	90.7	71.8	71.3	67.2			
Specimen		ARN				ARW					
		<i>Top end</i>		<i>Butt end</i>		<i>Top end</i>			<i>Butt end</i>		
		<i>Heart wood</i>	All	<i>Heart wood</i>	All	10RW	<i>Heart wood</i>	All	10RW	<i>Heart wood</i>	All
The 1st logs	<i>Mean</i>	18.7	34.5	27.5	42.2	6.7	5.8	4.5	6.2	5.7	4.7
<i>n</i> =529	<i>CV</i> (%)	34.5	27.8	32.1	26.2	21.3	27.3	25.5	33.9	29.0	24.1
Except for the 1st logs	<i>Mean</i>	18.5	36.3	24.3	42.4	6.6	5.7	4.4	6.7	5.4	4.3
<i>n</i> =738	<i>CV</i> (%)	39.6	33.3	34.5	30.1	20.0	30.7	30.8	23.3	29.3	30.1
ALL <i>n</i> =1267	<i>Mean</i>	18.6	35.5	25.6	42.3	6.7	5.8	4.4	6.5	5.5	4.5
	<i>STD</i>	6.97	11.15	8.70	12.08	1.37	1.69	1.28	1.83	1.62	1.25
	<i>CV</i> (%)	37.5	31.4	34.0	28.5	20.6	29.3	28.7	28.1	29.3	27.8
	<i>Min</i>	6.0	17.0	10.0	21.0	1.3	1.9	1.5	0.5	2.0	1.5
	<i>Max</i>	53.0	95.0	65.0	114.0	10.1	13.3	9.7	12.4	11.8	10.5

Legend: *L* : Length of logs, *Dt* : Diameter at top end, *Db* : Diameter at butt end,  
*F* : Frequency, *Efr* : Dynamic modulus of elasticity by longitudinal vibration,  
*CV* : Coefficient of variation, *STD* : Standard deviation,  
*ARN* : Annual ring number, *ARW* : Average ring width, *10RW* : 10 ring width.  
*n* : The same as Table 1.

樹皮の影響は無視した。また、元口に根張り部がある場合は、根張りの影響が少なく元口に近い部分を測定した。ただし、Bグループについては、末口、元口のそれぞれの木口の髓を通る直線の長径と短径の平均値を末口径、元口径とした。

また、Aグループについては、材質と動的ヤング係数の関係を調べるために、末口、元口ごとに心材年輪数、全体年輪数、心材径(短径と長径の平均値)、さらに未成熟部を想定した髓から10年輪目までの径(短径と長径の平均値)を測定した。

さらに、丸太の完満の度合いを表す指標として細り率( $Tr$ )を(2)式から算出した。

$$Tr = (Db - Dt) / L \quad (2)$$

## 結果と考察

### 1. スギ丸太の動的ヤング係数

#### 1.1 Aグループ(市場流通材)

測定結果をTable 2に、末口径と動的ヤング係数のヒストグラムをそれぞれFig. 2, Fig. 3に示す。

試験体は、1番玉が529本、2番玉以上が738本の計1267本である。測定本数は大分北部森林計画区内で少なく、大分西部森林計画区内で多くなっている。これは大分西部森林計画区内には日田林業地域があり、県内原木市場の半数以上に当たる10箇所の原木市場が調査時にこの地域に存在したことによる。また、原木市場には近隣の県外からも出材されており、厳密には全ての原木が県内で生育したスギ材とは言えない。さらに、試験体の末口径の平均値は29.1cmで、中目材としては少し大きめの径級であるが、皮付き丸太の円周長から求めた末口径と、市場末口径(末口木部の短径)との差の平均値( $n=290$ 本)は2.9cm、変動係数(CV)は33.9%となった。したがって、実際の市場末口径は円周長から求めた末口径より約3cm小さい26cm程度であることが推定された。

試験体全体の動的ヤング係数の平均値は6.31GPa(CV: 25.4%)であるが、1番玉の平均値は5.33GPa(CV: 21.4%)、2番玉以上の平均値は7.02GPa(CV: 21.6%)を示した。そして、1番玉と2番玉以上の丸太の間には1%の危険率で統計的な差が認められ、2番玉以上の丸太は1番玉丸太の約1.3倍の値を示した。供試試験体は無作為に抽出しており、この結果は大分県内に流通する中目材のほぼ平均的な動的ヤング係数を示していると考えられる。

また、金山(2001)は同様な測定を実施し、熊本県

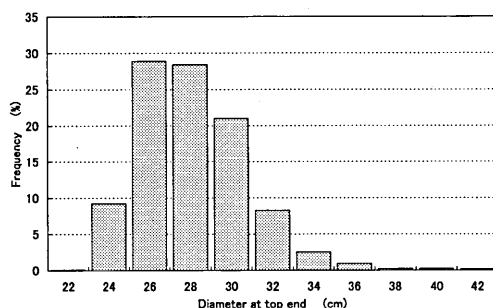
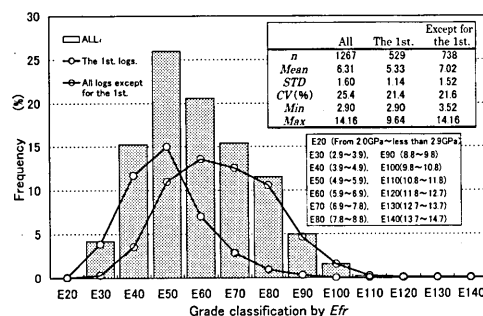


Fig. 2. Frequency distribution of diameter at top end. (Group A)



Legend:  $n$ , STD and CV are the same as in Table 2

Fig. 3. Frequency distribution of grade classification by Efr. (Group A)

内の原木市場に流通するスギ中目丸太( $n=2381$ 本)の動的ヤング係数の平均値が6.77GPa(CV: 22.4%)であり、6.86GPa(70tf/cm<sup>2</sup>)以上のヤング係数を有する原木が47%であったことを報告している。さらに、図師ら(1998)は鹿児島県内の4共販所においてオビスギ系のスギ中目丸太( $n=429$ 本、末口径16~27cm、材長4m)の動的ヤング係数を測定し、その平均値が6.16GPa(CV: 21.2%)であったことを報告している。これらのことから、原木市場に流通する九州産スギ中目材の動的ヤング係数の平均値は約6~7GPa、変動係数は約20~25%程度であることが推測された。

#### 1.2 Bグループ(スギ品種の違い)

Bグループの末口径および動的ヤング係数のヒスト

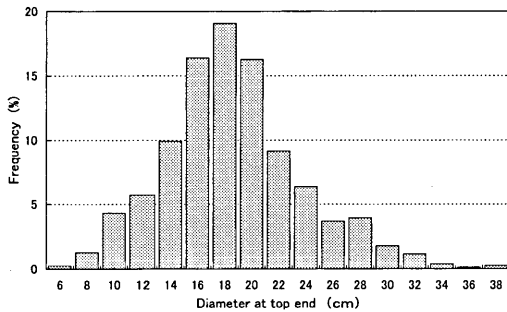


Fig. 4. Distribution of diameter at top end. (Group B)

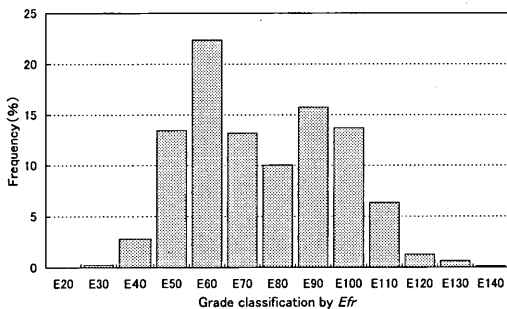


Fig. 5. Frequency distribution of grade classification by *Efr*. (Group B)

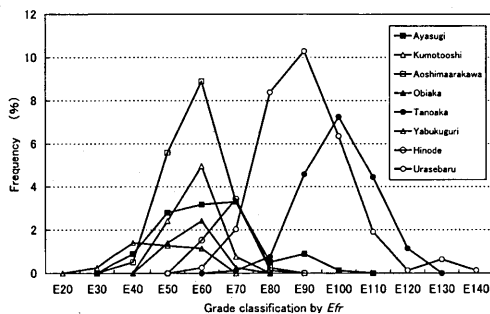


Fig. 6. Frequency distribution of *Efr* every sugi cultivar.

グラムを Fig. 4 および Fig. 5 に示す。

グループ全体の末口径の平均値は20cm ( $CV: 25.8\%$ ), 動的ヤング係数の平均値は7.95GPa ( $CV: 25.2\%$ )であった。なお、本実験では1立木から樹高方向に採材されているので、末口径の値には樹高の大きい部位における小径材の値が含まれている。一方、動的

ヤング係数は2つのピークを示し、全体の平均値を前述のAグループと比較すると、1.26倍の高い値を示した。

つぎに、品種別の動的ヤング係数の分布を Fig. 6 に示す。動的ヤング係数の分布は品種により異なる傾向を示し、前述の2つのピークの内、ヤング係数の高い方のピークをタノアカ、ウラセバルが構成し、低い方のピークをその他の品種が構成している。また、品種を区分しない場合の動的ヤング係数の変動係数が25.2%なのに対し、同一品種間の変動係数はアヤスギとヤブクグリを除き10%前後と小さな値を示している。

平川・藤沢 (1995, 1996, 1997) は、スギ丸太のヤング係数の変動要因がマイクロフィブリル傾角と密度から説明できること、マイクロフィブリル傾角の変動が遺伝的影響を強く受けること、マイクロフィブリル傾角の変動パターンが品種やクローン間で異なること等を報告している。このことから、スギ品種の違いがヤング係数の大小に大きく関与すること、林齢や生育状況等の違いからマイクロフィブリル傾角や密度の丸太内分布が異なるとヤング係数が品種間や個体間でばらつくことが推測される。本実験に供試した品種別の丸太は、林齢や生育状況が異なり、厳密な比較はできないものの、ある程度の品種別傾向を示していると考えられる。したがって、原木市場に出材される丸太のヤング係数のバラツキは、伐採される品種構成や林齢、生育状況によって大きく左右されることが予想される。

次に、品種ならびに玉番 (樹高) 別の動的ヤング係数と変動係数、個体別における各玉番の1番玉に対する動的ヤング係数比の平均値を Table 3 に示す。

動的ヤング係数の平均値は、いずれの品種においても、1番玉より2番玉以上の方が大きくなった。中谷 (1991) はスギの樹幹上部では未成熟材のヤング係数が下部に比べ高く、ヤング係数の低い部分は円錐形に近い形で分布すると報告しており、平川・藤沢 (1996) はスギ仮道管長の変化領域が樹幹内で円柱状に分布するのに対して、2次壁中層のフィブリル傾角の漸減領域は円錐状に分布すると報告している。したがって、1番玉にはヤング係数の低い部分が多く含まれ、2番玉以上に比べヤング係数が低くなったと考えられる。

また、山下ら (1996) は、樹高が大きくなるに伴い、丸太のヤング係数が顕著に大きくなる品種と、ほとんど変わらない品種があり、前者の品種としてヤブクグリ、ボカスギを報告している。本実験結果においても、品種によるヤング係数の変動の違いが認められた。すなわち、1番玉と2番玉で比較すると、動的ヤング係

Table 3. *Efr* of every log sequence.

Cultivar	<i>Efr</i> GPa	CV %	<i>n</i>	Specification of the logs							
				1st 1.2m~	2nd 4.2m	3rd 7.2m	4th 10.2m	5th 13.2m	6th 16.2m	7th 19.2m	8th 22.2m
Aya	6.64	10.6	32	16	16	—	—	—	—	—	—
	6.64	23.4	60	30	30	—	—	—	—	—	—
Kumotooshi	6.20	8.0	64	32	32	—	—	—	—	—	—
Aoshimaarakawa	6.25	11.4	146	37	37	37	28	7	—	—	—
Obiaka	6.09	7.1	32	16	16	—	—	—	—	—	—
Tanoaka	10.28	9.5	144	30	30	30	30	15	6	2	1
Yabukuguri	5.21	17.6	32	16	16	—	—	—	—	—	—
Hinode	7.06	7.2	40	20	20	—	—	—	—	—	—
Urasebaru	9.34	12.8	237	40	40	40	39	35	29	12	2
Total			787	237	237	107	97	57	35	14	3

Cultivar	<i>Efr</i> of every log sequence							
	1st 1.2m~	2nd 4.2m	3rd 7.2m	4th 10.2m	5th 13.2m	6th 16.2m	7th 19.2m	8th 22.2m
Aya	Mean:	6.14	7.15	—	—	—	—	—
	CV:	5.9	8.2	—	—	—	—	—
	Mean:	5.55	7.73	—	—	—	—	—
	CV:	19.5	14.7	—	—	—	—	—
Kumotooshi	Mean:	5.83	6.56	—	—	—	—	—
	CV:	6.0	4.8	—	—	—	—	—
Aoshimaarakawa	Mean:	5.75	6.32	6.45	6.46	6.58	—	—
	CV:	10.8	10.8	10.8	9.2	10.2	—	—
Obiaka	Mean:	5.94	6.24	—	—	—	—	—
	CV:	6.2	7.2	—	—	—	—	—
Tanoaka	Mean:	9.67	10.27	10.35	10.38	10.85	10.93	10.58
	CV:	7.3	8.7	9.3	10.1	10.6	6.6	2.5
Yabukuguri	Mean:	4.54	5.89	—	—	—	—	—
	CV:	13.1	11.0	—	—	—	—	—
Hinode	Mean:	6.74	7.39	—	—	—	—	—
	CV:	5.7	5.3	—	—	—	—	—
Urasebaru	Mean:	8.38	8.72	9.27	9.70	10.02	10.02	9.76
	CV:	11.3	9.5	9.3	9.6	11.5	12.7	13.8

Cultivar	Ratio for the 1st logs							
	1st 1.2m~	2nd 4.2m	3rd 7.2m	4th 10.2m	5th 13.2m	6th 16.2m	7th 19.2m	8th 22.2m
Aya	Mean:	1.0	1.17	—	—	—	—	—
	CV:	0	6.8	—	—	—	—	—
	Mean:	1.0	1.40	—	—	—	—	—
	CV:	0	8.0	—	—	—	—	—
Kumotooshi	Mean:	1.0	1.13	—	—	—	—	—
	CV:	0	5.0	—	—	—	—	—
Aoshimaarakawa	Mean:	1.0	1.10	1.13	1.15	1.27	—	—
	CV:	0	8.2	10.2	9.6	13.4	—	—
Obiaka	Mean:	1.0	1.05	—	—	—	—	—
	CV:	0	2.8	—	—	—	—	—
Tanoaka	Mean:	1.0	1.06	1.07	1.07	1.11	1.15	1.25
	CV:	0	5.6	7.2	7.2	8.2	8.8	2.3
Yabukuguri	Mean:	1.0	1.30	—	—	—	—	—
	CV:	0	6.5	—	—	—	—	—
Hinode	Mean:	1.0	1.10	—	—	—	—	—
	CV:	0	7.6	—	—	—	—	—
Urasebaru	Mean:	1.0	1.04	1.11	1.16	1.21	1.21	1.21
	CV:	0	4.5	5.4	6.7	11.5	10.0	9.9

Legend: *Efr*, CV and *n*: The same as in Table 2.



数比が1.04~1.40の範囲でヤング係数が増加しており、アヤスギ、ヤブクグリでとくに変化が大きい。また、2番玉以上の変動については品種により異なり、5番玉まで徐々に変化するウラセバルや2番玉~4番玉の変化が少ないタノアカなどがあつた。

今後、森林施業の長伐期化、スギ材の高齢化、大径化への移行を考慮すると、スギ材のヤング係数推定のためには、高樹齢樹幹内のヤング係数の分布を品種特性や生育環境を含めて明らかにする調査研究が必要と考えられる。

### 1.3 Cグループ (建築用丸太)

本実験の丸太は、黒川ら(2000)が提唱する丸太工法、すなわち丸太をそのまま大型建築用構造材として使用したものである。これらの使用丸太は、径級やサイズが市場流通材とは異なることや、建築設計上ヤング係数の最低基準を満たす必要があることから、林木段階での選定が行われた。この場合、径級は伐採前に

必要な径級の確認ができるが、ヤング係数については伐採前の確実な選別は困難である。そこで、設計基準に適合するヤング係数を有する材を効率的に調達するため、未成熟材部分が相対的に少なく、密度が大きいと予想される高林齢、かつ平均年輪幅が狭い林分が選択された。なお、ヤブクグリについては、従来の調査データから大径材でも元玉のヤング係数が低いことが予想されるので、選定品種から除外した。また、一部の林分では事前に材のサンプリング調査を行い、必要なヤング係数を有することを確認のうえ伐採を行っている。

Cグループの供試丸太の材長、末口径および動的ヤング係数の分布を Fig. 7, Fig. 8 および Fig. 9 に示す。また、これらの丸太は伐採後の葉枯しや剥皮後数ヶ月の天然乾燥を施しており、乾燥の進行が考えられるので測定時の密度分布についても Fig. 10 に示す。

材長は4mが1番多く、次いで3.5mで、6m材(末口径30cm以上)も10%余りが含まれている。末

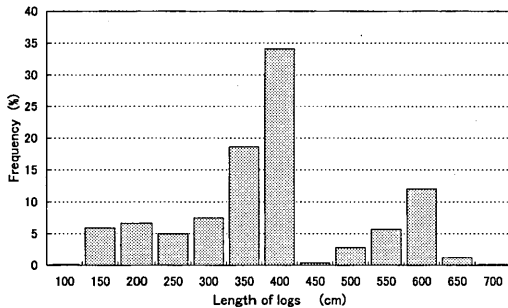


Fig. 7. Frequency distribution of length of logs. (Group C)

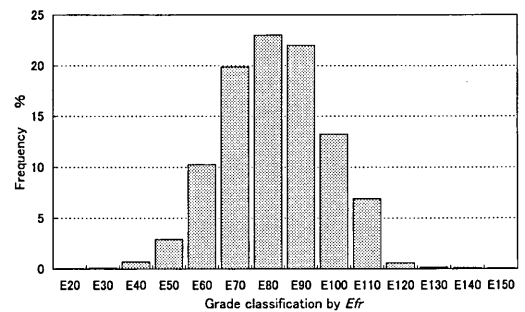


Fig. 9. Frequency distribution of grade classification by Efr. (Group C)

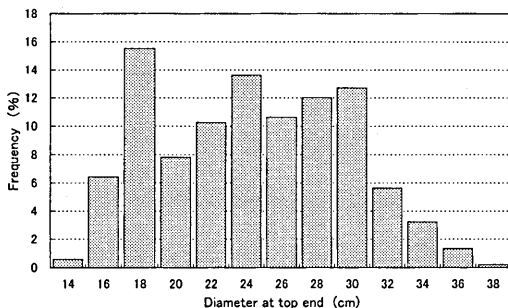


Fig. 8. Frequency distribution of diameter at top end. (Group C)

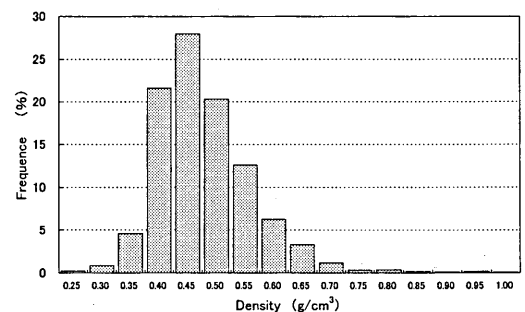


Fig. 10. Frequency distribution of density of logs. (Group C)

口径の平均値は25.4cm (CV: 20.7%), 動的ヤング係数の平均値は8.53GPa (CV: 18.0%)となり、前述のAグループの動的ヤング係数の平均値に比べ30%以上高い値を示した。この理由については、丸太を調達する際に林齢が高く、平均年輪幅が狭い林分のもものが集められたこと、品種区分で元玉のヤング係数の低いものを除いて選定したこと、事前にサンプリング調査を行い材のヤング係数を確認したこと、測定時の密度の平均値が0.504g/cm<sup>3</sup> (CV: 16.7%)と天然乾燥が進行していたことなどが考えられる。

これらのことから、林木の情報効率的な材料収集に対し有効であることが示唆された。

#### 1.4 全グループ

A, B, Cを合わせたグループ全数の動的ヤング係数の分布をFig. 11に示す。

測定本数は計3935本となり、末口径の平均値は、25.4cm (CV: 22.1%), 動的ヤング係数の平均値は、7.70GPa (CV: 25.0%)であった。この値は、品種、材長、末口径、林齢、密度などを統一的に揃えた条件ではないが、大分県の平均的な丸太ヤング係数としての指標になると考えられる。

## 2. スギ丸太の目視による強度区分

Aグループの測定結果は、県内の広い地域からサンプリングされており、大分県におけるスギ中目丸太の形状や材質特性を良く表していると考えられる。一般的に原木市場では、一部の特徴ある品種を除き品種を特定することは困難である。この原木市場に流通する丸太から動的ヤング係数が目視により推定可能かどうかの検証を行った。動的ヤング係数とTable 2に示す各項目との単相関係数を求めると、相関係数が高い順に、固有振動数(0.89)、細り率(-0.64)、元口全体平均年輪幅(-0.52)、玉番数(0.52)、末口全体平均年輪幅(-0.46)、元口径(-0.44)、末口全体年輪数(0.43)になった。また、未成熟材率を想定した10年輪率(全体)との有意な相関係数は認められなかった。これらの項目から、相関係数が高い、細り率、玉番数、元口径の中から細り率を、元口全体平均年輪幅、末口全体平均年輪幅、末口年輪数の中から末口全体平均年輪幅をそれぞれ選択し、動的ヤング係数を目的変数にして重回帰分析を試みた。その重回帰式を式(3)に、動的ヤング係数と重回帰式から求めたヤング係数(*Ecal*)の関係をFig. 12に示す。

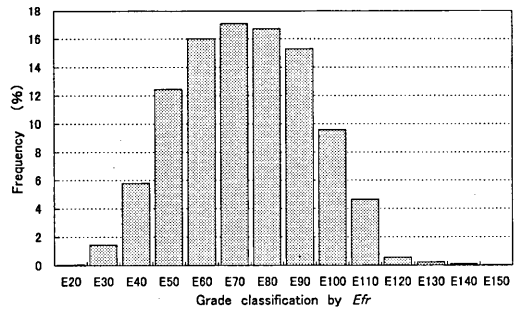


Fig. 11. Frequency distribution of grade classification by *Efr*. (Group A, B, C)

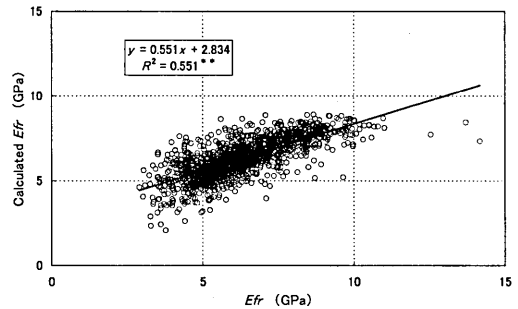


Fig. 12. Relationships between *Efr* and calculated *Efr* by the equation (3).

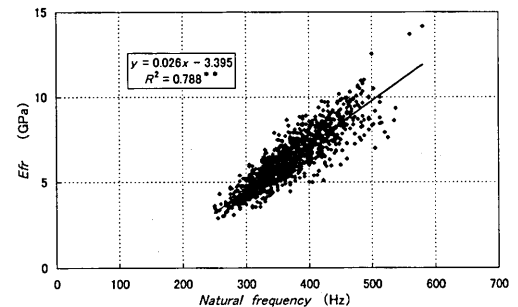
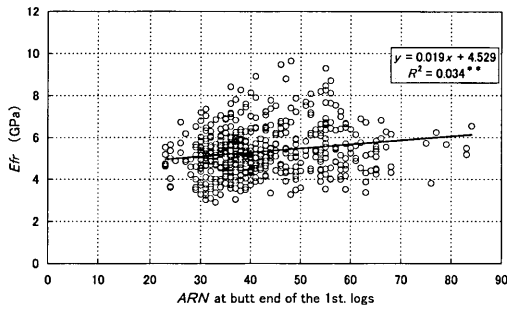
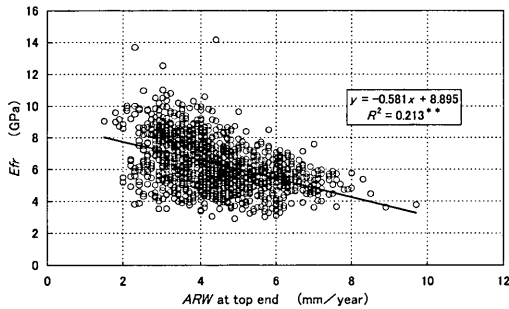


Fig. 13. Relationships between natural frequency and *Efr*.



Legend: ARN: The same as in Table 2.

Fig. 14. Relationships between Annual ring number at butt end of the 1st. logs and  $E_{fr}$ .



Legend: ARW: The same as in Table 2.

Fig. 15. Relationships between Annual ring width at the top end and  $E_{fr}$ .

$$E_{cal} = 10.76 - 0.048ARW - 152.32TR \quad (3)$$

ここに、ARW: 末口平均年輪幅

TR: 細り率

重相関係数は、0.74となり、ある程度の推定が可能であることが分かった。しかし、実用的にはバラツキの幅が大きく、固有振動数と動的ヤング係数の単相関係数が0.89と高いことを考慮すると、固有振動数のみからヤング係数を推定する方法が、より測定が簡易で合理的であると考えられた (Fig. 13)。

また、木材業界において強度性能と林齢、あるいは平均年輪幅との関係がしばしば論じられるが、本実験データでは、林齢、年輪幅とも1%の危険率で動的ヤング係数との相関関係は認められるものの、バラツキの幅が大きく、これらのみで動的ヤング係数を推定することは実用的でないことが分かった (Figs. 14, 15)。

以上のことから、目視区分による動的ヤング係数の推定においては、細り率、末口平均年輪幅からある程度の推定が可能であることが分かった。しかし、固有振動数のみによる推定の方が高い相関を示すことから、目視区分より固有振動数の測定を採用する方法がより簡易で実用的と考えられる。

すでに、現場においては丸太を動的ヤング係数で区分する試みが行われている (田岡, 2001)。今後、スギ材のエンジニアリングウッドへの利用拡大や商取引の電子化がより一般化すると予想される。したがって、材長、径級などと同様に動的ヤング係数も商品の品質表示として重要な項目となるので、全数測定に向けた実用的な丸太のグレーディングマシンの開発が期待される。

## 要 約

これまで測定した大分県産スギ丸太の動的ヤング係数から次のことがわかった。

1) 大分県産スギ丸太 ( $n=3935$ 本) の動的ヤング係数の平均値は7.70GPa (CV: 25.0%)であった。

2) スギ中目材の動的ヤング係数の平均値は、6.31GPa (CV: 25.4%)となり、1番玉は5.33GPa (CV: 21.4%)、2番玉以上は7.02GPa (CV: 21.6%)になった。2番玉以上の丸太は、1番玉丸太の約1.3倍の値を示した。

3) 原木市場に流通する中目材の動的ヤング係数は、熊本県、鹿児島県の試験データとほぼ一致し、九州産スギ中目材の平均値は約6~7GPaであることが推測された。

4) 動的ヤング係数はスギ品種により違う値を示した。また、同一立木では、いずれの品種も、1番玉丸太より2番玉以上の丸太のヤング係数が高い傾向を示した。品種や玉番による仕分け区分ができれば動的ヤング係数の大まかな推定が可能である。

5) 県産スギ丸太材のヤング係数分布は、出材される品種の林齢や生育状況の組み合わせにより変動することが考えられた。スギ品種や林齢さらに生育状況等の森林管理上のデータベースの構築が大切であると考えられる。

6) 目視区分による動的ヤング係数の推定では細り率、末口平均年輪幅からある程度の推定が可能であることが分かった。しかし、固有振動数のみの推定の方が高い相関を示すことから、目視区分より固有振動数の測定を採用する方法がより簡易で実用的と考えられる。

## 文 献

- 荒武志朗ら 1992 極積み状態における丸太の高次固有振動数からの製材品 MOR と MOE の推定. 木材学会誌, 38(11): 995-1001
- 荒武志朗・森田秀樹 1999 宮崎県南部地域産スギ集成材の材質 (第1報). 木材学会誌, 45(2): 111-119
- 有馬孝禮ら 1993 周波数分析による丸太区分とその製品生産工程への応用. 材料, 42(473): 141-146
- 橋爪丈夫ら 1997 カラマツラミナの性質と集成材の強度性能 (第1報). 木材学会誌, 43(8): 647-654
- 平川泰彦・藤澤義武 1995 精英樹スギクローンにおける晩材仮道管 S<sub>2</sub> 層のマイクロフィブリル傾角と仮道管長との関係. 木材学会誌, 41(2): 123-131
- 平川泰彦・藤澤義武 1996 スギの晩材仮道管 S<sub>2</sub> 層のマイクロフィブリル傾角の樹高方向における変動. 木材学会誌, 42(2): 107-114
- 平川泰彦・藤澤義武 1997 スギ丸太のヤング率の変動に関わる晩材仮道管 S<sub>2</sub> 層のマイクロフィブリル傾角と密度の影響. 木材学会誌, 43(9): 717-724
- 池田潔彦・大森昭壽 1990 スギ構造用大断面集成材に関する研究 (I). 静岡県林業技術センター研究報告, 18: 25-35
- 金山ジュン 2001 県産材の材質に関する研究. 熊本県林業研究指導所業務報告書, 40: 17-18
- 小泉章夫ら 1997 秋田県産スギ材の強度特性 (第1報). 木材学会誌, 43(1): 46-51
- 黒川哲郎 2000 6 m のスギ丸太をつないで, 安全で経済的な大規模木造建築を実現. 現代林業, 408: 16-21
- 三ヶ田雅敏・城井秀幸 2001 県産スギ大径材の乾燥及び強度性能評価. 日林九支研論文集, 54: 185-188
- 宮島 寛 1989 九州のスギとヒノキ. 九州大学出版会, 福岡, 15-143頁
- 中谷 浩 1991 林木の冠雪害に関する樹木力学的研究. 富山県林業技術センター研究報告, 4: 1-54
- 農林水産省統計情報部 2003 平成14年素材需給統計: 1-7
- スギ分科会 1991 木材の科学と利用技術 II 5. スギ 日本木材学会研究分科会報告書: 1-130
- 田岡秀昭 2001 原木グレーディングについて. 月刊ワイド, 147: 2-5
- 山下香菜 他 1996 スギ在来品種の丸太ヤング係数の樹高方向における変動. 第46回日本木材学会大会講演集要旨集: 70
- 図師朋弘 他 1998 鹿児島県産中目スギの強度性能. 鹿児島県工業技術センター中小断面集成材の製造システム開発研究成果報告書: 1-4

## Summary

It is important to know strength performance of sugi (*Cryptomeria japonica* D. Don.) in order to produce engineering wood products efficiently. In this study, distribution of dynamic modulus due to longitudinal vibration method ( $E_{fr}$ ), that is nondestructive evaluation method, of the sugi logs grown in Oita prefecture was grasped. And the possibilities of stress grading by sugi cultivar and visual observation, etc. were also verified, and the practical stress grading methods in the field were examined.

The results are summarized as follows:

- (1) The mean value of  $E_{fr}$  of the sugi logs ( $n=3935$ ) grown in Oita prefecture was 7.70GPa ( $CV: 25.0\%$ ).
- (2) The mean value of  $E_{fr}$  of the sugi middle diameter logs was 6.31GPa ( $CV: 25.4\%$ ), and the first logs was 5.33GPa ( $CV: 21.4\%$ ), and all logs except for the first logs was 7.02GPa ( $CV: 21.6\%$ ). All logs except for the first logs showed about 1.3 times the value of the first logs.
- (3)  $E_{fr}$  of sugi middle diameter logs in the wood market in oita prefecture was the almost equal to the values of Kumamoto and Kagoshima prefectural test data. From this fact, it was estimated that the mean value of dynamic modulus of the sugi middle diameter logs grown in Kyushu is about 6 ~ 7GPa.
- (4) The values of  $E_{fr}$  varied with sugi cultivars. And also, values of  $E_{fr}$  of the first logs in the identical stand tree were lower than the upper logs. The rough estimation of  $E_{fr}$  is possible, if sugi cultivar and classification by the log sequences are clarified.
- (5) Distribution of  $E_{fr}$  of logs grown in Oita prefecture was considered to fluctuate, with the combination of sugi cultivar, stand age and growth condition. So, it is important to construct the database on the forest management which include the sugi cultivar, stand age and growth condition etc..
- (6) It was found that the visual classification from taper rate and average width of annual rings is possible to estimate  $E_{fr}$  approximately. However,  $E_{fr}$  had the higher correlation with natural frequency than the visual indexes of taper rate and average width of annual rings. So, it could be thought that  $E_{fr}$  estimated with natural frequency is simple and practical index for the stress grading.